

# Research Progress of Soil Passivation Technology in Cadmium Contaminated Farmland

Yuanyu Liang, Xiaoli Wang\*, Fang Yang

College of Agricultural, Guizhou University, Guiyang Guizhou  
Email: 2512069713@qq.com, \*xlwang@gzu.edu.cn

Received: Jun. 14<sup>th</sup>, 2019; accepted: Jul. 5<sup>th</sup>, 2019; published: Jul. 12<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

With the advent of science and technology society, modern industry and agriculture are developing rapidly with each passing day. As a result, heavy metals have gradually penetrated into the soil environment, causing huge pollution to the ecological environment. The heavy metal cadmium is the most serious pollution in farmland soil and the most significant element exceeding the standard in agricultural products. It described in the paper that the current commonly used repair method of farmland soil pollution, shows that passivation repair material is by changing the soil, PH, generate precipitation, adsorption and ion exchange, organic ligand complex, ion competition, etc., to reduce the soil effective state of cadmium content and biological effectiveness. This paper expounds the passivation repair mechanism of soil cadmium pollution as well as the influence factors of passivation effect of repair, and briefly summarizes the common passivator on market at present.

## Keywords

Cadmium Pollution, Passivation Technology, Passivation Mechanism, Passivating Agent

---

# 镉污染农田土壤钝化技术研究进展

梁远宇, 王小利\*, 杨芳

贵州大学农学院, 贵州 贵阳  
Email: 2512069713@qq.com, \*xlwang@gzu.edu.cn

收稿日期: 2019年6月14日; 录用日期: 2019年7月5日; 发布日期: 2019年7月12日

---

\*通讯作者。

## 摘要

随着科技社会的到来,现代工农业日新月异飞速发展,使得重金属渐渐地渗透到了土壤环境当中,对生态环境造成巨大的污染。而重金属镉是在农田土壤中污染最严重在农产品中超标最显著的元素,对镉污染农田土壤的修复研究迫在眉睫。本文叙述了我国土壤污染现状、当前常用的修复污染农田土壤的方法、钝化修复技术的作用机理及钝化效果影响因素和农田土壤镉污染常用钝化剂,总结了钝化修复材料降低土壤有效态镉的含量和生物有效性的主要途径:改变土壤的pH、生成沉淀、吸附与离子交换、有机配位络合、离子竞争等。并进一步阐述了钝化修复农田土壤镉污染的作用机理以及钝化修复效果的影响因素,为镉污染农田土壤的钝化技术修复提供理论参考。

## 关键词

镉污染,钝化技术,钝化机理,钝化剂

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 我国土壤污染现状

农田土壤的重金属污染主要是指 Pb、Hg、Zn、Cr、Cd 等一些重金属元素在农田土壤中的含量超过原有土壤的背景值,会造成土壤肥力的退化,作物的产量品质下降,生态环境的破坏,以及对人类健康造成一定危害的现象[1]。重金属来源广泛,可以通过开采与冶炼、化肥与农药施用、金属加工工艺、电池制造产业、造纸工业、制革厂、汽车尾气排放、固体废物随意堆放、污水灌溉及污泥施肥等活动进入到水体、大气和土壤中[2]。土壤重金属污染具有隐蔽性、潜伏性、积累性和长期性等特点[3],土壤重金属污染在全球范围内普遍存在且日益严重。

据我国 2017 年我国土壤污染状况调查公报显示[4],我国土壤中各种污染物超标点位占调查总点位的 16.1%;而耕地土壤重金属的点位超标率高达 19.4%,其中镉的点位超标率为 7.0%,居我国土壤重金属污染物的首位。农田土壤中的镉的来源很多。其主要的来源是人类的生产活动带来的。工业生产中三废的乱排乱放,农业生产中的化肥农药的过度使用,都使得土壤中镉不断富集不断加剧对土壤的污染。未经处理过的污水污泥作为农田灌溉水有机肥来源是目前部分地区镉污染严峻形势的罪魁祸首,因为这些镉进入土壤后是很难由土壤自身的净化作用来消除和减缓镉污染带来的对土壤及人体影响的[5]。会长期的存在并且严重威胁生态系统的完整性[6],引起粮食安全问题和人类健康问题[7]。所以对重金属镉的修复一直是重金属污染治理的工作重心之一。

农田土壤的镉污染会导致作物可食部镉累积,农作物的根系对镉具有较强的吸收作用。植物可将土壤中的镉吸收并存储于植物器官内。作物中积累的镉,会对作物细胞膜产生损害,并降低作物的新陈代谢能力,甚至产生某些毒害[8]。镉是人体内的非必须微量元素。镉可以通过消化道和呼吸道等途径被人体吸收,人体内的镉 90%来源于日常饮食。研究发现人体内的镉会随着年龄的增加而不断累积[9]。镉会对人体产生很严重的危害,长期食用轻微镉超标的食品会导致人体镉累积并产生毒性,镉作用于人体致畸、致癌、致突变,可能引发癌症、关节炎、肺气肿、肾小管坏死、痛痛病等疾病[6]。常见的修复方法一般可分为物理修复方法、化学修复方法及生物修复方法和农业生态修复方法[1]。化学钝化修复技术

因其投入低、使用方法较简单,方式多样极少、对农业生产影响较小,修复效果好见效快等优点。被广泛应用于重金属污染的农田土壤修复[10]。也是当前环保部门、农业部门着重研究的课题之一。

随着镉污染形势的日益严峻,人们对于镉污染的关注度也逐渐增加,目前形成了较多的关于镉修复的技术,但是在选择修复方法之前,应该先对镉污染农田土壤的调查和评估。分析土壤理化性质、镉含量及对农产品安全性的影响程度[11]等。以确定合适的修复方法,做到因地制宜,节约成本,合理规划[12]。

## 2. 钝化修复技术的作用机理及钝化效果影响因素

### 2.1. 钝化修复技术的作用机理

在已经受到污染的土壤中即使添加钝化剂也不能使得重金属元素从土壤中忽然消失,主要目的是对重金属的形态分布造成影响,将可提取态重金属转化为残渣态,便能有效的减少农田土壤的重金属污染[13],使人类健康得到有效的保障。钝化技术的机理主要是通过改变土壤性状来降低土壤中镉的活性,一般包括沉淀固定、吸附及离子交换、离子拮抗、螯合等作用[14]。但对多数钝化剂而言其作用机理往往不是单一的,常常是由多种机理共同作用[15]。

#### 1) 沉淀固定作用

大部分钝化剂是通过沉淀固定作用来降低土壤中镉的有效性[16]。在土壤中施用石灰等碱性物质时(包括石灰、生物质炭、白云石等)可明显提高土壤 PH,减少土壤中有效镉含量。在土壤中施入含有碳酸根离子、硅酸根离子、氢氧根离子等钝化剂时,镉离子可与这些阴离子发生作用生成难溶的碳酸镉、硅酸镉、氢氧化镉等沉淀,使镉从有效态转换成无效态,可以减少作物对镉的吸收,减缓土壤镉污染。例如,钙镁磷肥中磷酸根离子可与镉离子结合,生成磷酸盐沉淀[17]。

#### 2) 吸附及离子交换作用

粘土矿物的离子交换能力很强,它们可以通过离子交换和专性吸附等途径来将镉离子吸持住,让土壤中的有效态镉明显降低,如沸石可提高农田土壤的 PH,降低土壤中镉的生物有效性,起到钝化农田土壤中镉离子的作用[18]。由于有机质的比表面积大、交换能力强。所以我们施用有机物料也可以增加对重金属镉的吸附[19]。

#### 3) 离子拮抗作用

农田土壤是一个含有各种重金属元素的大环境,这些多种多样的重金属彼此之间会相互作用影响彼此的生物有效性。部分研究[20]证实:Pb 与 Cd 之间存在竞争吸附作用,且吸附能力较强的金属会促使另一种金属留在弱的结合位点。Zn、Cd 在元素周期表中属于第二副族,二者大队化学性质相似,在自然界中总是结伴而生,当农田土壤中 Zn、Cd 浓度相差较大时,Zn、Cd 会表现为相互抑制[21]。镉离子与锌离子有相似的外层电子结构,两者可以互相竞争进入生物细胞上的结合位点,因此,在玉米幼苗时期施加锌可有效抑制玉米对镉的吸收。一般常用的镉拮抗物质有硫酸锌、稀土镧等。石灰中的钙离子也能与镉离子发生拮抗作用,降低土壤  $Cd^{2+}$  的有效性[20][22]。

#### 4) 有机络合作用

农田土壤中有有机物质进入时,有机物质中大量的氨基、酮基、羟基及硫醚等有机配位体,可以与镉等重金属离子络合成难溶的络合物,抑制重金属离子的生物有效性[23]。特别是以经腐熟的有机质可与镉形成具有一定稳定结构的金属有机络合物而提高镉的吸附量[24]。腐殖酸能使土壤 PH 值降低,使重金属镉溶解并与镉形成稳定的、不易被生物吸收的氯-镉络合物。可以提高修复效率[25]。

### 2.2. 钝化修复效果的影响因素

重金属污染土壤的钝化修复效果,主要与土壤本身的理化性质和钝化剂种类用量有关。如生物炭是

一种含碳量高、孔隙密度大、吸附能力强的多用途材料[22],能明显减少土壤中有效态镉的含量,减少作物对重金属镉的吸收[26]。但生物炭的实际钝化效果因生物炭类型、土壤类型、作物种类等条件的不同而不同。土壤本身的 PH、土壤氧化还原电位、阳离子交换量、有机质含量、植物的类型等均对钝化效果影响较大[13]。

土壤氧化还原电位主要取决于土壤体内的水汽比例,对重金属的环境毒性有显著影响[27]。大部分重金属元素属于亲硫元素,在低的氧化还原环境下易生成难溶性硫化物,降低毒性和危害[28]。在土壤 PH 值一定时单位质量的干燥土壤与土壤溶液进行交换的阳离子的数目为土壤的阳离子交换当量。当其他的条件相似时,改良剂对重金属产生的钝化修复效果随阳离子交换量的增加而增强。土壤中含有的有机质利用络合作用、静电吸附影响重金属的环境毒性,并且对重金属的有机结合态的含量具有明显的影响作用。农田生态系统受到较多的人为因素的干扰,农作物是农田生态系统中的重要组成,并且与土壤中含有的重金属具有紧密的联系。农作物的根部会分泌金属螯合物、金属还原蛋白酶,或释放质子使根部的土壤酸化,从而使土壤中含有的重金属被溶解[19]。所以作物的类型也是影响钝化修复效果的重要原因之一。

不同的钝化材料对重金属钝化修复机理不同,钝化效果也有差异[27]。施用海泡石和磷酸盐,通过提高土壤 PH 值、物理化学吸附以及生成矿物沉淀等作用,促进污染土壤中镉由交换态向残渣态转化,从而显著降低镉的生物有效性和有效镉的迁移能力[15]。

### 3. 农田土壤镉污染常用钝化剂

#### 3.1. 无机材料对农田土壤镉污染的钝化修复

施加部分含有硅钙物质的无机材料可以提高土壤中的 PH 值,可以更大强度的吸附重金属离子镉[5][29];硅钙物质可以和镉离子形成一些重金属碳酸盐、硅酸盐沉淀等,降低镉在农田土壤中的可移动性和生物有效性,有效减轻镉污染。但是如果长期施用硅钙物质,会破坏农田土壤团粒结构、使土壤中有机质分解过快、养分流失严重,对作物产生一定程度的毒害。而在土壤中加入石灰、钙镁磷肥等无机材料也可以达到相似的钝化镉的效果,还能为酸性缺钙农田土壤补充钙元素,增强土壤的养分[30]。施入含磷物质进入重金属污染的农田土壤,这些物质可以通过离子交换、沉淀等作用来减少植物对镉的吸收积累[20],有效控制农作物中的镉含量,从而使作物免受毒害。磷灰石和草酸活化磷灰石都可减少镉在污染农田土壤中的流动性显著降低可交换态镉。但是在酸性农田土壤中施用含磷物质[31],使用过量的含磷物质可能会引起磷流失而导致水体富营养化,会诱导作物缺锌而降低作物产量。且含磷物质中可能含有其他重金属(如过磷酸钙等),施入农田土壤中而形成二次污染,因此施用前充分考虑。黏土矿物通过吸附、离子交换等作用修复镉污染土壤,有便宜、不破坏土壤结构等优势[16],但是黏土矿物与土壤在农田土壤中不易分离,被固定的镉可能会重新释放出来造成二次污染,所以在施用应根据染农田土壤实际情况,选择适宜黏土矿物材料,以期达到最佳的钝化修复效果。

#### 3.2. 有机材料对农田土壤镉污染的钝化修复

有机肥含有丰富的有机质,可改善并提高农田土壤肥力,可与镉形成不溶性镉-有机复合物等而减少土壤中重金属镉有效态含量,降低镉的生物有效性[5]。虽然现在有机肥的前景广大,但是随着工农业的飞速发展,养殖场的动物粪肥由于饲料添加剂的使用,有部分重金属会随着有机肥的施入而对土壤形成进一步的污染,所以在大规模施用有机肥之前应该对有机肥的成分进行检测,尽量避免造成的土壤污染。在农业生产中的各种废弃物中都含有大量的植物纤维[32],比如各种农作物的秸秆,或者农作物生长阶段的枯枝落叶,都能与重金属产生络合作用,形成金属有机络合物。我们在选择用农业废弃物来减轻



土壤镉污染的时候应该选择未被重金属污染的农业废弃物[33]。

### 3.3. 复合材料对农田土壤镉污染的钝化修复

无机-无机复合材料用来固定重金属镉也是现今研究较多的热点之一。其中最常见的是黏土矿物——硅钙物质复合、黏土矿物——磷肥复合，可以通过吸附作用、沉淀作用与离子交换作用等物理化学作用来固定住土壤中重金属，且在目前拥有较好的钝化效果[34]。我们在用这种材料钝化土壤中的重金属时应该选取没有被工业污染的材料避免引起土壤的二次污染。有机-无机复合钝化材料主要是以生产生活中的污泥、堆肥为主，这种材料一般是纤维状结构、含有大量的极性基团，可以有效的钝化土壤中重金属镉，降低镉生物有效性[35]，减轻镉对环境的污染。但这种有机-无机复合材料本身含有重金属成分，所以在施用之前应该对其含量进行测定。有机-无机复合材料是一种有许多羧基、羟基功能基团的可引起土壤镉形态发生改变钝化镉的活性的有效抑制剂。但随着时间的推移，有机钝化材料与土壤矿物组分发生交互作用，土壤中镉可能会被重新释放出来，导致土壤中钝化的镉重新活化[36]。所以在采用复合材料来钝化土壤镉的同时必须严格检测其原本的重金属含量，不能给土壤带去二次污染[26]，使钝化效果得到最大程度的保持。

## 4. 结语与展望

农田土壤中镉污染具有严重危害性，且污染来源广泛。对镉污染治理最直接的措施还是从源头上切断污染源，加强对相关企业的排查和废弃物的监管，阻止污染物进入周围环境，才能真正控制镉污染。钝化修复技术由于只能改变土壤中镉的存在形态，并不能减少在土壤中的总量，如果在特定情况下镉可能会被再次活化，难以达到永久性修复的目的。因此，钝化修复技术仅适用于中低程度镉污染的地区。

随着我国农田土壤重金属污染面积的增加，寻找切实可行的处置方法刻不容缓。从国内外的研究与实践来看，钝化修复技术可以较好地固定土壤中重金属镉，降低土壤中重金属镉的活性，但是钝化技术在实际应用中尚有一些需要深入研究的问题。钝化剂的过量使用会造成土壤质量下降且存在二次污染的风险。所以土壤重金属镉污染治理的关键就在于研发多种持续有效且经济环保的土壤重金属钝化剂，以及选择合适的土壤修复方法，并且将研发成果转化为产品以提供市场需求。在接下来的研究过程中我们应该综合利用各种现代分析技术，深入到分子水平对钝化机制作出解释，对长期修复效应进行相关评估。

## 基金项目

国家自然科学基金(31860160, 41361064)。

## 参考文献

- [1] 宋玉婷, 雷泞菲. 等. 我国土壤镉污染的现状及修复措施[J]. 西昌学院学报(自然科学版), 2018, 32(3): 79-83.
- [2] 胡松水. 农田土壤重金属污染钝化修复技术新见解[J]. 科学技术创新, 2018(21): 161-162.
- [3] 王苗苗, 孙红文, 耿以工, 等. 农田土壤重金属污染及修复技术研究进展[J]. 天津农林科技, 2018(4): 38-41+43.
- [4] 陈能场, 郑煜基, 何晓峰, 等. “全国土壤污染状况调查公报”探析[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(9): 1689-1692.
- [5] 刘昭兵, 纪雄辉, 谢运河, 等. 有机废弃物与化肥配施对污染稻田水稻产量及糙米镉铅含量的影响[J]. 湖南农业科学, 2013(5): 38-41+44.
- [6] 徐建明, 孟俊, 刘杏梅, 等. 我国农田土壤重金属污染防治与粮食安全保障[J]. 中国科学院院刊, 2018, 33(2): 153-159.
- [7] Fu, Q.-L., Li, L., Achal, V., Jiao, A.-Y. and Liu, Y. (2015) Concentrations of Heavy Metals and Arsenic in Market Rice Grain and Their Potential Health Risks to the Population of Fuzhou, China. *Human and Ecological Risk Assessment*, 21, 117-128. <https://doi.org/10.1080/10807039.2014.884398>

- [8] 刘梦丽, 蒋明, 李博, 等. 农田土壤镉污染钝化修复研究进展[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2018, 33(2): 350-359.
- [9] 叶赛克. Cd 污染农田土壤钝化剂的筛选及修复效果研究[D]: [硕士学位论文]. 扬州: 扬州大学, 2017.
- [10] 邢金峰, 仓龙, 任静华, 等. 重金属污染农田土壤化学钝化修复的稳定性研究进展[J]. 土壤, 2019, 51(2): 224-234.
- [11] 杨飞行, 吴再君, 朱美丽, 等. 重金属污染土壤修复技术及其修复实践[J]. 化工管理, 2019(13): 54-55.
- [12] 倪中应, 谢国雄, 章明奎, 等. 镉污染农田土壤修复技术研究进展[J]. 安徽农学通报, 2017, 23(6): 115-120.
- [13] 王期凯, 郭文娟, 孙国红, 等. 生物炭与肥料复配对土壤重金属镉污染钝化修复效应[J]. 农业资源与环境学报, 2015, 32(6): 583-589.
- [14] 张云春. 用于镉污染土壤修复的组合钝化剂研究[J]. 农家参谋, 2018(3): 183-184.
- [15] 周斌, 易新建, 邵煜锟, 等. 工业复合钝化剂对镉污染水稻土的修复效应及其机理[J]. 湖南农业科学, 2015(7): 30-33.
- [16] 鲁秀国, 过依婷, 等. 重金属污染土壤钝化修复技术研究[J]. 应用化工, 2018, 47(7): 1473-1477.
- [17] 孙子涵. 改性纳米碳黑对两种植物-土壤系统中 Cd 和速效养分的影响[C]//中国土壤学会土壤环境专业委员会第二十次会议暨农田土壤污染与修复研讨会. 中国土壤学会土壤环境专业委员会, 2018: 1.
- [18] 肖蓉, 聂园军, 曹秋芬, 等. 中、轻度重金属污染农田的特征及治理[J]. 中国农学通报, 2018, 34(33): 101-106.
- [19] 杨树深, 孙衍芹, 郑鑫, 等. 重金属污染农田安全利用: 进展与展望[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(10): 1555-1572.
- [20] Wang, X., Liang, C.-H. and Yin, Y. (2015) Distribution and Transformation of Cadmium Formations Amended with Serpentine and Lime in Contaminated Meadow Soil. *Journal of Soils and Sediments*, **15**, 1531-1537. <https://doi.org/10.1007/s11368-015-1105-7>
- [21] 曾伟刚, 梁义珍, 等. 农田土壤镉污染修复技术研究[J]. 资源节约与环保, 2017(6): 110-111.
- [22] Pérez-Esteban, J., Escolástico, C., Masaguer, A. and Moliner, A. (2012) Effects of Sheep and Horse Manure and Pine Bark Amendments on Metal Distribution and Chemical Properties of Contaminated Mine Soils. *European Journal of Soil Science*, **63**, 733-742. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2012.01468.x>
- [23] Nguyen, T.H., You, S.-J. and Chao, H.-P. (2016) Effect of Pyrolysis Temperatures and Times on the Adsorption of Cadmium onto Orange Peel Derived Biochar. *Waste Management & Research*, **34**, 129-138. <https://doi.org/10.1177/0734242X15615698>
- [24] 单世平, 郭照辉, 付祖姣, 等. 降低水稻镉吸收原位钝化修复技术及其作用机理[J]. 生态科学, 2015, 34(4): 175-179.
- [25] 孙丽娟, 秦秦, 宋科, 等. 镉污染农田土壤修复技术及安全利用方法研究进展[J]. 生态环境学报, 2018, 27(7): 1377-1386.
- [26] 施加春, 孟龙, 黄涂海, 等. 镉污染农田土壤的安全利用研究[C]//中国土壤学会土壤环境专业委员会第二十次会议暨农田土壤污染与修复研讨会. 中国土壤学会土壤环境专业委员会, 2018: 1.
- [27] 殷飞, 王海娟, 李燕燕, 等. 不同钝化剂对重金属复合污染土壤的修复效应研究[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(3): 438-448.
- [28] 吴唐福, 王相琴, 李昌文, 等. 江华县重金属镉污染农田控制技术初探[J]. 作物研究, 2019(3): 220-222+245.
- [29] 李泰平, 丁浩然, 徐海珍, 等. 农田重金属污染土壤的原位钝化研究[J]. 环境科学与技术, 2019, 42(1): 226-230.
- [30] 曹英兰, 陈丽娜, 张金丽, 等. 牡蛎壳粉对酸性土壤的修复及其对镉的钝化作用研究[J]. 环境科学与技术, 2016, 39(1): 178-182.
- [31] 程晨. 镉污染酸性红壤植物吸取与钝化修复长效性研究[D]: [硕士学位论文]. 贵阳: 贵州大学, 2017.
- [32] 崔俊义, 马友华, 王陈丝丝, 等. 农田土壤镉污染原位钝化修复技术的研究进展[J]. 中国农学通报, 2017, 33(30): 79-83.
- [33] 顾巧浓, 金红丽, 周玲玲, 等. 钝化剂对土壤重金属污染修复的实验研究[J]. 能源与节能, 2015(11): 105-106+155.
- [34] 孙亚萍, 王永显, 阮桂丽, 等. 土壤重金属污染修复钝化剂的研究进展[J]. 农业开发与装备, 2017(3): 55-56.
- [35] 池文婷, 钟锦锋, 戴启斌, 等. 我国农田土壤重金属污染的生物修复技术研究进展[J]. 山东化工, 2018, 47(15): 68-71.
- [36] 徐蒙蒙. 多金属重度污染农田风险管控技术研究[D]: [硕士学位论文]. 南宁: 广西大学, 2018.

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询;  
或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2329-7255, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [hjss@hanspub.org](mailto:hjss@hanspub.org)